



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위청구논문

디스크 여과기의 디스크 홈 단면 형상에 따른
수두 손실 특성 분석

Analysis of Disk Filter Head Losses
due to the Shapes of Disk Grooves

2018년 2월

서울대학교 대학원
생태조경·지역시스템공학부
지역시스템공학전공
정 승 연

디스크 여과기의 디스크 홈 단면 형상에 따른
수두 손실 특성 분석

Analysis of Disk Filter Head Losses
due to the Shapes of Disk Grooves

지도교수 최 진 용

이 논문을 공학석사학위논문으로 제출함

2018년 2월

서울대학교 대학원

생태조경·지역시스템공학부

지역시스템공학전공

정 승 연

정 승 연의 석사학위논문을 인준함

2018년 2월

위 원 장 _____ (인)

부 위 원 장 _____ (인)

위 원 _____ (인)

국 문 초 록

본 연구에서는 디스크 홈 단면 형상에 따른 디스크 여과기의 수두 손실 변화를 분석하기 위해 대상 여과기별 유량-수두 손실 관계를 실험을 통해 측정하여 홈 수두 손실을 산정하였으며 홈 단면 형상에 따른 수두 손실의 변화를 분석하였다. 해외와 국내에서 많이 이용되는 여과기 중 대표적으로 남경의 2" Alpha Q 디스크 여과기, Arkal의 2" Dual Manual 디스크 여과기, 그리고 한솔테크의 2" SAFE 디스크 여과기를 연구 대상 여과기로 하였다.

직접 측정을 통해 디스크 여과기의 치수 정보를 구성하였고, 보다 정밀한 홈 단면의 치수 측정을 위해 Field-Emission Scanning Electron Microscope (FESEM)으로 디스크 홈 단면을 100 배로 확대 촬영하여, 홈 단면 치수 및 형상을 구하였다. 디스크 여과기의 디스크 너비, 디스크 장수 등은 Arkal 여과기에서 가장 크며, 디스크 내·외경, 두께, 디스크 표면 홈 개수, 홈 각도 등은 Arkal 여과기에서 가장 작았다. 디스크 홈 단면적은 남경 여과기에서 가장 작았으며, 홈 단면 형상은 Arkal 여과기와 한솔테크 여과기에서 삼각형으로 남경 여과기에서 반타원형으로 나타났다.

디스크 여과기의 수두 손실 측정 실험을 통해 디스크 여과기를 통과하기 전후의 압력과 통과하는 유량을 측정하여 유량-수두 손실 관계를 대상 여과기별로 유도하였다. 디스크 홈 하나에서의 Reynolds 수를 디스크 여과기 사용 유량 범위에서 계산하여, 세 가지 여과기 모두에서 낮은 유속을 갖는 층류임을 확인하였다. Reynolds 수의 계산 결과에 따라 디스크 사이에서 홈이 교차되는 지점에서 와류의 영향이 홈의 흐름에 유의미한 영향을 주지 않는다고 가정하였다. 유량-수두 손실 관계를 통해 홈 수두 손실을 산정하여 4 개의 다른 동일 단면 조건 (면적, 높이, 수력직경, 둘레)에 대하여 단면적의 변화율에 따른 재계산을 진행한 후 그 값을 비교 분석하였다.

여과기별 유량-수두 손실은 실험으로 측정한 유량 범위에서 한솔테크

여과기의 수두 손실이 가장 낮았고, 남경 여과기의 수두 손실이 가장 크게 나타났다. 여과기별 수두 손실에는 디스크 홈 단면 크기의 차이가 가장 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

홈 단면 형상이 반타원형인 남경 여과기의 디스크에서 4가지 조건 모두에서 삼각형인 Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 디스크보다 더 낮은 경향을 보였다. 4가지 경우를 종합하였을 때, 반타원형 단면의 수두 손실이 삼각형 단면보다 낮아지는 것은 수력직경이 더 크기 때문인 것으로 나타났다. 또, 같은 비율로 홈 단면적과 홈의 둘레가 각각 감소했을 때 홈의 마찰 수두 손실의 변화가 단면 급축소 및 급확대 수두 손실보다 더 크게 나타나는 것으로 판단되었다.

본 연구의 결과는 미래의 점적관개용 디스크 여과기의 설계 수두 손실을 감소시킬 수 있는 디스크 홈 단면으로 반타원형을 제시하였으며 이후 디스크 설계에 있어 수두 손실을 최소화하는 홈 단면을 탐색하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

주요어 : 점적관개, 디스크 여과기, 수두 손실, 디스크 홈 단면

학 번 : 2016 - 21711

목 차

국 문 초 록	i
목 차	iii
List of Tables	v
List of Figures	vi
제 1장 서 론	1
1.1 연구 배경	1
1.2 연구 필요성	4
1.3 연구 목적	6
제 2장 연구사	7
2.1 여과기의 특성 분석	7
2.2 디스크 여과기의 수두 손실	9
제 3장 연구 방법	11
3.1 디스크 홈 단면 형상 별 여과기 수두 손실 분석 개요	11
3.2 디스크 여과기	12
3.2.1 디스크 여과기의 특성 및 구조	12
3.2.2 디스크 여과기의 수두 손실	15
3.3 연구 대상 디스크 여과기	18
3.3.1 디스크 여과기의 기본 정보	18
3.3.2 디스크 여과기의 치수 정보	20
3.4 디스크 여과기의 수두 손실 측정 실험	20
3.4.1 실험 장치	24

3.4.2 실험 과정	24
제 4장 결과 및 고찰	27
4.1 디스크 여과기별 수두 손실 분석	27
4.2 디스크 홈 단면 형상별 홈 수두 손실 분석	31
4.2.1 디스크 여과기별 홈 내부의 Reynolds 수 분석	31
4.2.2 디스크 여과기별 홈 수두 손실 재계산 분석	33
제 5장 요약 및 결론	38
References	41
Abstract	

List of Tables

Table 3.1	Disk specifications	21
Table 3.2	FESEM images of disks grooves at 100X	23
Table 3.3	Pump specifications for filter head loss test	24
Table 3.4	Flow meter specifications for filter head loss test	25
Table 4.1	Relationship of head losses and flow rates	28
Table 4.2	Head loss equations of disk filters	30
Table 4.3	Reynolds numbers of waters passing through disk grooves	32
Table 4.4	Head loss equations of disk grooves	33
Table 4.5	Relationships of cross-section area and head loss of disk grooves	33
Table 4.6	Head losses of disk grooves under the same cross-section conditions	34

List of Figures

Fig. 3.1	Procedure diagram for analyzing disk filter head losses with the shapes of disk grooves	11
Fig. 3.2	Filtration processes in a disk filter (Netafim manual disk filters)	13
Fig. 3.3	Top view of a disk with crisscross pattern of grooves (Netafim manual disk filters)	14
Fig. 3.4	Head losses at a disk groove	16
Fig. 3.5	Selected commercial disk filters for experiment ..	18
Fig. 3.6	Shapes of disk grooves	20
Fig. 3.7	Cross-sections of disk grooves	22
Fig. 3.8	Equipment for filter head loss test	25
Fig. 3.9	Procedure of filter head loss test	26
Fig. 4.1	Head loss chart of disk filters	29
Fig. 4.2	Head loss charts in a disk groove of filters under the same cross-section conditions	35

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경

작물 재배를 위한 적정 관수 관리는 작물의 수분스트레스와 물 사용량을 최소화하면서 작물 성장에 필요한 양만 적소 적시에 투입하는 것을 의미한다 (김학진 외, 2009). 이때 점적관개 시스템은 물과 영양물질을 작물이 필요로 하는 양만큼 일정한 빈도로 관수로를 통해 식물의 뿌리층으로 직접 전달하기 때문에 적정 관수 관리에 가장 적합한 관개 시스템이라고 할 수 있으며 관개 효율이 약 90~95%로 매우 높다 (Benham and Ross, 2002). 또한 점적관개 시스템은 관개 자동화가 적용할 때 그 효율이 가장 높게 나타나는 관개방법에 해당한다 (김철수 외, 1991).

점적관개 시스템은 관수로를 설치하여 원하는 위치에 이미터 (emitter)를 배치하고 관개용수를 작물의 근 구역에 필요 수량을 공급하는 관개 방법이다 (남원호 외, 2012). 또한 점적관개는 국내에서 밭 또는 시설 재배지에서 주로 시행되고 있는 관개 방법 중의 하나에 해당한다 (이남호 외, 1998). 관개 시스템의 동력원으로는 펌프를 사용하며, 이용하는 관개시설의 규모에 따라 적절한 성능의 펌프를 선택한다. 점적관개 용수는 물탱크에 물을 저장하여 이용하거나 지하수를 직접 끌어올려 사용하는 방법들이 이용되고 있다. 지하수를 사용할 경우, 관정을 설치하여 이용하기에 초기비용이 크지만, 강수 또는 물탱크 내 물 저장량이 부족한 경우에도 관개를 시행할 수 있다는 장점이 있다.

관개용수로 사용되는 물에는 부유물질 등과 같은 불순물이 존재하며 이는 관개 시설 또는 작물에 부정적인 영향을 주는 원인이 되기도 한다. 논 관수로 관개의 경우, 용수로 말단에서 논에 바로 물을 공급하기 때문에 관수로의 말단이 관개용수 속의 부유물질에 막히지 않아, 관개 시설이 부유물질에 의한 피해를 거의 받지 않는다. 밭 또는 시설재배지에서 사용되는 점적관개 시설 중 이미터는 내부에 미세한 통로를 가지기에 관

개용수 속 부유물질들이 통로를 막아서 이미터가 제 역할을 하지 못하도록 방해하는 경우가 생긴다. 이를 막힘 현상이라 하며, 막힘 현상을 예방하기 위해 여과 시설을 관개용수가 이미터에 도달하기 전에 설치하여 막힘 현상의 원인이 되는 크기의 입자들을 미리 제거하게 된다. 여과 시설의 핵심 부품으로는 여과기가 있으며, 경우에 따라 단일 또는 다중 병렬의 형태로 설치하여 사용한다. 이는 점적관개 뿐만 아니라 다른 시설 관개에서도 유사하며, 이처럼 여과 시설은 시설관개에 있어 필수적으로 사용된다. 다만, 관개 말단부의 장치에 막힘 현상을 유발하는 입경의 크기는 각 시설관개마다 다르기 때문에, 적절한 여과 크기를 가지는 여과기를 목적에 맞게 선택하여 사용하는 것이 필요하다. 예를 들어 스프링클러 등과 같은 시설 관개에서 이용되는 여과기의 경우, 점적관개에서 사용하는 여과기보다 목표로 하는 여과 입자의 입경 크기가 더 크다. 또한, 여과기를 통해 막힘 현상을 예방하는 것은 관개 말단부의 정비 횟수를 크게 감소시키고, 이에 따라 시설관개 시스템의 유지비용이 절감되고 시스템의 유지보수에 필요한 시간이 크게 감소하게 된다.

관개용수가 여과기를 통과하면서 발생하는 수두 손실은 일반적으로 전체 점적 관개 시스템에서 수두 손실의 40% 이상의 점유율을 가진다 (Wu et al., 2014). 여과기에서 발생하는 수두 손실은 여과재 자체에서 발생하는 수두 손실과 여과된 부유물질들에 의해 발생하는 수두 손실로 나뉜다. 따라서 여과기를 오랫동안 사용하면, 여과기 내부에 축적된 부유물질들이 여과기에서 발생하는 수두손실을 점차 증가시키며 점적관개 시스템의 효율을 크게 감소시킨다. 따라서 적절한 시기에 여과재 또는 여과기 자체를 교체 또는 세척하여 여과기 내부에 과도하게 축적된 부유물질들을 제거하는 것이 필요하다.

점적관개에 사용되는 여과기는 여러 종류가 존재하며 그중 디스크 여과기는 여과재가 도넛 형태의 얇은 디스크가 여러 장 쌓인 형태로 되어 있다. 디스크 여과기의 여과재 내부는 디스크 표면에 파여진 홈들로 구성되어, 서로 겹쳐지면서 복잡한 내부 구조를 형성하고, 이는 관개용수 속 부유물질들을 효과적으로 여과한다 (Capra and Sciocolone,

2004; Puig-Bargués et al., 2005a, 2005b). 따라서 다른 종류의 여과기들과 비교하였을 때, 디스크 여과기는 여과 크기가 비교적 더 정확하며 이를 조절하여 사용하는 것이 가능하고, 광범위한 관개 지역에서의 에너지 소비가 더 적게 나타난다 (Liu et al., 2017). 하지만 디스크 여과재의 복잡한 내부 구조는 디스크 여과기의 수두 손실이 다른 종류의 여과기에 비해 더 높게 나타나게 된다 (Tajrishy et al., 1994; Puig-Bargués et al., 2003; Duran-Ros et al., 2009).

디스크 여과기에서의 수두 손실은 주로 여과재에 의해 약 60% 이상이 발생한다 (Wu et al., 2014). 따라서 디스크의 개수, 크기 및 형상은 여과기의 수두 손실에 큰 영향을 주게 되며, 이를 근거로 디스크 정보를 바탕으로 수두 손실 계산식을 산정하려는 연구들이 진행되어 왔다. Yürden et al. (2008)은 디스크 여과기의 입·출구 관의 직경, 여과기 디스크의 내·외경, 여과기의 길이 등과 같은 변수들을 사용하여 정수(淨水)를 사용할 때의 디스크 여과기의 수두 손실 계산식을 제안하였다. Demir et al. (2009)은 여러 철제 디스크 여과기들의 수두 손실을 측정하고 비교하였으며, 디스크 여과기와 디스크 홈의 형상이 수두 손실에 영향을 주며, 디스크 홈이 곡선 형상일 때 직선 형상일 때보다 수두 손실이 더 낮게 나타나는 것을 확인하였다. Duran-Ros et al. (2010)은 관개용수의 TSS (Total Suspended Solids) 농도, 밀도 및 동점성계수와 입·출구관의 직경을 변수로 사용하여 디스크 여과기의 수두 손실 관계식을 제안하였다. Yürden et al. (2010)은 이후 디스크 여과기의 수두 손실 계산식의 변수로 여과기 몸체뿐만 아니라 디스크와 통과하는 물에 관련된 항목들 또한 포함하였다. Wu et al. (2014)의 연구에서는 이전의 연구에서 고려되지 않은 디스크 홈의 형상 및 치수가 여과기의 수두 손실에 주는 영향을 근거로 홈 단면의 치수를 디스크 여과기의 수두 손실 계산식의 변수로 추가하였다.

1.2 연구 필요성

점적관개는 기본적으로 관개효율이 매우 높지만, 점적관개 시설의 설치비용 및 소비되는 에너지가 상대적으로 더 높다. 따라서 점적관개의 효율을 증대시키기 위해서는 점적관개 시스템에서 발생하는 에너지 소비의 최소화가 필요하다. 이를 위해 점적관개 시스템에서 발생하는 수두 손실 중 약 40% 이상을 차지하는 여과기에서 발생하는 수두 손실을 줄이는 것은 중요하며, 이를 위해 수두 손실 발생에 영향을 주는 요소들을 파악하려는 연구들이 진행되어 왔다 (Wu et al., 2014). 이러한 연구들은 관개용수의 수질에 따라 여과기에서 발생하는 수두 손실의 특성을 분석하려는 연구와 정수 (淨水)를 사용할 때 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실을 디스크 여과기의 구조를 통해 분석하려는 연구로 구분되어 진행되어 왔다.

Yürden et al. (2008)은 디스크 여과기의 입·출구 관의 직경, 디스크의 내·외경, 그리고 여과기의 길이 등과 같은 전체 구조물에 대한 변수들을 도입하여 정수 (淨水)에서의 디스크 여과기의 수두 손실 계산식을 제안하였다. Duran-Ros et al. (2010)은 관개용수의 TSS 농도, 밀도 및 동점성계수에 따른 디스크 여과기의 수두 손실 계산식을 제안하였다. Yürden et al. (2010)은 여과기의 외부 치수 뿐만 아니라, 디스크의 구조, 사용되는 물의 특성들을 디스크 여과기의 수두 손실 계산식에 적용하였다.

디스크 여과기에서 발생하는 대부분의 수두 손실은 관개용수가 디스크를 통과할 때, 홈에서 발생하는 단면 급확대 및 급축소 수두 손실과 마찰 수두 손실로 이루어진다. Demir et al. (2009)은 디스크 홈의 형상이 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실에 영향을 주며, 곡선 형상이 직선 형상보다 수두 손실이 더 낮게 나타난다는 것을 분석하였다. Wu et al. (2014)은 삼각형의 디스크 홈 단면에서 홈의 바깥쪽 및 안쪽 끝에서의 삼각형 단면의 폭과 깊이에 따른 디스크 여과기의 수두 손실의 변화를 분석하였다.

디스크 여과기의 수두 손실을 낮추기 위해서 여과기의 유형, 디스크의 구조를 변화시키는 것은 중요하지만, 디스크 홈의 구조를 수두 손실을 낮추는 데 적합한 형상으로 개선하는 것 또한 중요하다. 그 중 디스크 홈 단면은 비교적 최근에 연구된 부분으로 삼각형 홈 단면에 대해서만 연구된 바 있으며, 홈의 구조에 곡선 형상이 존재할 경우 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실이 낮아진다고 하였으므로, 본 연구에서는 홈 단면 형상에 곡선 설계를 적용하였을 때에도 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실의 감소에 효과적인 요소인지 확인하는 것 또한 필요하다고 판단하였다.

1.3 연구 목적

본 연구의 목적은 관개시설에 사용되는 디스크 여과기를 설계할 때, 발생하는 수두 손실을 보다 낮출 수 있는 디스크 구조의 개선 방향을 디스크 홈 단면 형상 측면에서 제공하고자 하였다. 연구 목적에 대한 세부 사항을 정리하면 다음과 같다.

(1) 입출구관 직경, 여과기 형태, 재질 등이 동일한 3가지 디스크 여과기를 대상으로 활용하며, 디스크 구조를 측정하여 디스크 홈 단면 형상의 차이를 분석하는데 사용한다.

(2) 수두 손실 실험 장치를 사용하여 디스크 여과기별 수두 손실을 실측한다. 수두 손실 실측 결과를 바탕으로 디스크 여과기별 유량-수두 손실 관계식을 산정하여 동일 유량에서의 수두 손실을 비교한다.

(3) 디스크 여과기별 유량-수두 손실 계산식을 바탕으로 디스크 홈 수두 손실을 등가의 단면 조건으로 재계산하여 디스크 홈 단면 형상에 따른 디스크 여과기의 수두 손실을 비교하고 더 낮은 수두 손실을 보이는 디스크 홈 단면의 형상을 분석한다.

따라서 본 연구에서는 점적관개 시스템의 주요 요소인 디스크 여과기의 수두 손실 실측 자료와 디스크 치수 정보를 통해 디스크 홈 수두 손실을 산정하고, 디스크 여과기 수두 손실이 더 적은 단면 형상을 분석하고자 하였다. 또한 이를 통해 디스크 여과기의 설계 시 디스크 홈 단면 형상에 관한 결정을 지원함으로써 발생하는 수두 손실을 더 낮출 수 있는 디스크 여과기의 설계 기초자료로 제공하는 것을 목적으로 한다.

제 2장 연구사

2.1 여과기의 특성 분석

작물재배 시 좋은 물관리를 위해서는 작물이 선호하는 토양 환경을 조성하고, 뿌리의 성장에 맞게 관개 범위를 정하고, 작물 소비수량에 알맞게 관개를 하는 것이 필요하다 (정강호, 2007). 김학진 외 (2009)는 점적관개는 작물재배를 위한 적정 관수관리에 적합한 관개방법이며, 점적관개를 이용할 시 해당 토성별로 관수시간을 다르게 해야 효율적으로 작물에 수분을 공급할 수 있다는 특성을 가지고 있다고 하였다. 이남호 외 (1998)는 국내의 시설농업 중 점적관개는 상당수 비율을 차지하고 있으며, 대부분의 이용자들이 높은 시설비에 불만이 많다고 분석하였다.

이에 최적의 점적관개 시스템의 설계를 지원하기 위한 연구들이 지속적으로 시행되어 왔다. 노희명 (1997, 2000)은 점적관개 시 작물 근권에서의 토양수분 이동 및 분포 현상을 좌표계를 이용한 모델을 개발하여 현장의 토양수분 상태를 충분히 묘사하여 최적 점적관개의 설계에 도움을 줄 수 있도록 하였다. 최순군 (2012)은 점적관개 시스템을 설계할 때는 토양 내 수분 거동과 관개자재의 수리적 특성을 고려하여 설계를 할 필요가 있음을 분석하였다. 정영상 외 (1997)는 점적관개에 주로 사용되는 지하수의 경우, 국내의 일부 지하수 중 질산태 질소의 농도가 높은 상태로 작물을 재배할 때 물관리와 시비 관리에 세심한 주의가 필요한 수준이라고 분석하였다.

Oron et al. (1979)은 점적관개를 사용할 때, 이미터의 막힘은 물리적인 것뿐만 아니라, 생물학적, 화학적 요인들에 의해서도 일어날 수 있으며, 따라서 관개용수 속 부유물질 등을 억제하여 이미터의 막힘을 줄이기 위한 여과는 중요하며, 재처리된 폐수를 점적관개에 사용한 후의 토성의 변화는 허용 가능한 범위 안에 있다고 분석하였다. Benham and Ros (2002)는 막힘 현상의 예방하기 위한 가장 좋은 방법으로 여과 과정의 효율 증대, 수처리, 정비 전략 등을 포함한 관리 계획을 세울 것을

제안하였다. 또한 점적관개 시스템에 사용되는 용수의 분석은 적절한 설계 및 운영에 중요하며, 설치비용이 가장 높은 여과 장치를 설치하는 것은 관개 시스템의 유지보수비용과 추가 노동력 투입을 줄이는 효과를 나타낸다고 하였다. 이처럼 막힘 현상을 예방하는 여과 과정의 효율이 증가하는 것은 점적관개 시스템의 운영 효율을 높여주는 결과를 보여준다 (McDonald et al., 1984; Adin and Alon, 1987; Yürdem et al., 2008). Capra and Scicolone (2004)는 동일한 이미터와 여과기에서 생활폐수를 관개용수로 재사용할 경우 TSS와 유기물 질량 함량이 높을수록 막힘 현상이 발생할 확률이 증가한다고 분석하였다. Tripathi et al. (2014)은 점적관수 시스템에 사용되는 이미터 내부 통로의 물리적인 막힘 현상은 관개용수 속의 부유 입자, 미생물 잔해 등에 의해 주로 발생하며, 폐수가 관개용수로 사용되었을 때, 폐수 내의 무기질 및 유기질 불순물들을 가장 효과적으로 여과하는 것은 모래 여과기와 디스크 여과기를 조합하여 사용하는 형태임을 분석하였다. Wu et al. (2014)은 점적관개 시스템에서 발생하는 수두 손실의 40% 이상은 여과기에서 발생하며, 여과기가 점적관개 시스템에서 에너지 소비 요소로서 큰 비중을 차지하고 있다고 하였다. 이에 따라 여과기의 효율은 불순물의 여과 능력뿐만 아니라 수두 손실이 적게 발생하는 것 또한 포함해야 한다고 하였다.

2.2 디스크 여과기의 수두 손실 분석

디스크 여과기는 여러 산업에 걸쳐서 과거부터 사용되어 왔으며, 1960년대부터 농업용으로 사용되어 왔다 (Alhands and Prochaska, 1996). 디스크 여과기는 도넛 형태의 디스크를 여러 장 겹쳐서 디스크 사이의 파인 홈에 의한 미세한 미로 형태의 유로로 관개용수를 통과시키면서 관개용수 내부의 불순물 등을 여과하는 방식을 사용한다 (허승오, 2007).

디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실은 디스크에서 약 60% 이상이 발생한다고 분석된 바 있다 (Wu et al., 2014). 따라서 디스크의 구조가 여과기에서 발생하는 수두 손실에 어떠한 영향을 주는지를 분석하는 연구들이 진행되어 왔다. Rebeiro et al. (2004)은 디스크 여과기에서의 수두 손실 발생은 수질에 크게 영향을 받으며, 2개 이상의 여과기를 직렬로 연결하여 사용할 경우, 첫 번째로 관개용수가 통과하는 여과기에서 관개용수의 수질로 인한 수두 손실의 증가가 가장 높다고 분석하였다. Puig-Bargués et al. (2005)은 점적관개 시스템에서 폐수를 관개용수로 재사용할 때, 차원 분석 기법을 사용하여 여과 크기, 폐수 속 평균 입경, 총 여과 표면적, 유량, 폐수 속 TSS의 농도, 여과기 내부의 물의 부피 등을 변수로 사용한 디스크, 스크린, 모래 여과기에 대한 수두 손실 계산식을 개발하였다. Yürden et al. (2008)은 디스크 여과기의 입·출구관 직경뿐만 아니라, 디스크의 내·외경, 여과기 길이 등과 같은 요소들 또한 수두 손실 계산식의 변수로 고려해야 한다고 하였으며, 이를 바탕으로 차원 분석 기법을 사용하여 디스크 여과기에서의 수두 손실 계산식을 제안하였다. Demir et al. (2009)은 여러 철제 디스크 여과기들에 대한 수두 손실 측정 실험을 진행하였는데, 여과기와 홈 단면의 형상에 따라 수두 손실이 차이가 나는 것을 분석하였으며, 디스크 홈이 곡선 형상일 때 직선 형상일 때보다 수두 손실이 더 낮게 나타난다고 하였다. Yürden et al. (2010)은 디스크의 내·외경 이외의 다른 구조와 통과하는 물의 특성들 또한 디스크 여과기의 수두손실 계산식에 변수

로 포함하여 다시 제안하였다. Duran-Ros et al. (2010)은 관개용수의 수질 및 여과 과정의 수리적인 특성을 변수로 사용하여 모래 여과기와 디스크 여과기의 수두 손실 계산식을 차원 분석 기법을 통해 제안하였다. Wu et al. (2014)은 디스크 홈 단면의 치수 또한 디스크 여과기의 수두 손실 계산식의 변수로 사용하였으며, 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실의 약 60% 정도가 디스크에서 발생한다고 분석하였다. 또한 디스크 여과기의 입·출구관 직경, 디스크 바깥쪽 홈 단면의 깊이, 디스크의 내경을 증가시키는 것은 홈 단면적을 증가시키고 홈 내부의 물의 속도를 감소시켜, 결과적으로 디스크에서 발생하는 수두 손실을 감소시킬 수 있다고 하였다. 추가적으로 안쪽 홈 단면의 너비와 깊이를 줄이는 것은 수두 손실을 소폭 증가시키지만 디스크 홈을 통과하는 미세 부유물질들의 양을 줄인다고 하였다. Arbat et al. (2011)은 모래 여과기의 모래 및 보조재에서의 수두 손실 계산식의 산정을 위해 전산유체역학을 이용하였으며, 기존에 자주 사용되는 차원 분석 기법에는 많은 양의 실험 데이터가 필요하고, 계산식의 적용 범위가 실험된 조건에 제한되어 있으며, 여과 과정에 대한 물리적인 설명이 없다는 한계가 있다고 하였다.

제 3장 연구방법

3.1 디스크 홈 단면 형상 별 여과기 수두 손실 분석 개요

본 연구는 입·출구관 직경 2"의 규격을 가지는 여러 디스크 여과기들 중 디스크 홈 단면 형상이 서로 다른 3가지 디스크 여과기를 연구 대상 여과기로 선정하였다. 각 여과기를 대상으로 제조사에서 제공하는 여과기 디스크 관련 기술정보를 조사하고 일부 디스크 치수들은 직접 측정하여 디스크의 구조 정보로 사용하였다. 연구 대상으로 선정된 디스크 여과기의 입·출구관의 직경 2"와 동일한 직경을 가지는 관으로 구성된 실험 장치를 통해 디스크 여과기를 통과하는 유량과 통과 전·후의 압력의 값을 측정하였고, 이를 바탕으로 유량과 압력 수두 손실과의 관계식을 산정하였다. 유량-수두 손실 관계식의 비교 분석을 진행한 후, 최종적으로 디스크 홈에서의 수두 손실을 재계산하여 디스크 홈 단면 형상이 디스크 여과기에서 발생하는 수두 손실에 미치는 영향을 분석하였다.

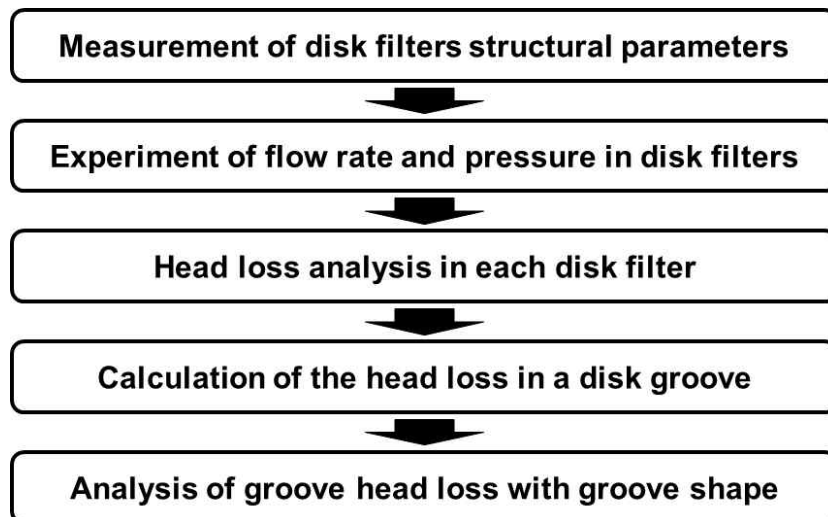


Fig. 3.1 Procedure diagram for analyzing disk filter head losses with the shapes of disk grooves.

3.2 디스크 여과기

3.2.1 디스크 여과기의 특성 및 구조

점적 관개 시스템에 사용되는 디스크 여과기는 이미터의 막힘 현상의 원인이 되는 무기질 및 유기질의 부유 물질들을 제거하는 데에 그 목적을 두고 있다 (Adin and Alon, 1986; Puig-Bargués et al., 2005a; Duran-Ros et al., 2009). 디스크 여과기는 스크린 여과기를 여러 번 사용하는 효과 및 세척과 관리가 쉬운 모래 여과기의 특징을 모두 가지고 있다는 장점이 있다. 또한, 디스크 여과기의 경우 어떤 수자원을 관개용수로 사용하더라도 그에 맞는 적절한 디스크를 선택하여 사용할 수 있기에 다른 종류의 여과기들보다 가장 범용성이 높은 여과기라고 할 수 있다. 이런 장점들을 가진 디스크 여과기는 1960년대부터 이스라엘에서 점적관개를 시작하면서 농업용수의 여과 장치로 사용되기 시작했다 (Alhands and Prochaska, 1996). 디스크 여과기는 표면에 작고 긴 홈이 일정한 간격으로 나 있는 원형 디스크가 여러 겹으로 적층된 형태의 여과재를 이용한다. 이러한 디스크 여과기의 구조로 인해, 디스크가 서로 겹쳐질 때 디스크 사이에는 디스크 홈들로 구성된 작은 공간이 생기며, 여과기에 들어온 관개용수는 **Fig. 3.2**와 같이 디스크 사이로 들어가게 되며, 여기서 관개용수 속 부유물질들을 여과하게 된다. 관개용수 속 유기질의 부유물질들은 디스크 내부 공간 중 디스크 홈이 교차하는 지점에 걸려서 여과되는 경우가 많다고 한다. 디스크는 안쪽이 뚫려 있는 얇은 도넛의 형태를 띠며, 디스크 사이의 홈들을 통과한 관개용수는 디스크 내부 공간으로 나와서 디스크 여과기의 출구관을 통해 빠져나가게 된다.

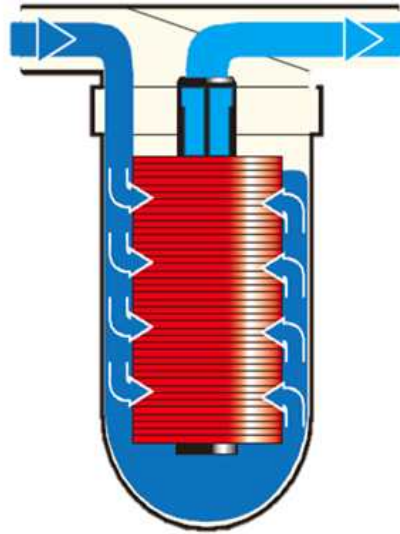


Fig. 3.2 Filtration processes in a disk filter

– Netafim manual disk filters info.

디스크의 각 홈은 디스크 표면을 따라 디스크 중심을 기준으로 일정한 간격으로 배열되어 있다. 디스크를 겹쳤을 때, 디스크 홈끼리 겹쳐서 끼어버리는 현상을 막기 위해 디스크 홈은 디스크 중심을 향하는 방향에서 일정한 각도로 기울어져 있다. 디스크가 서로 겹쳐질 경우 디스크 사이의 홈들이 서로 만나면서 **Fig. 3.3**과 같은 그물과 비슷한 형상의 복잡하고 작은 유로를 가지는 3차원 수로망을 구성하게 된다. 이러한 구조는 디스크 여과기의 관개용수 속 여러 부유물질들을 효과적으로 여과해낼 수 있도록 한다 (Capra and Sciocolone, 2004; Puig-Bargués et al., 2005a, 2005b). 이때, 형성되는 관망에서 홈 하나가 다른 홈들과 교차하여 만나는 지점의 개수는 Arkal사의 디스크에 대해서 25~400 micron의 여과 크기에서 12~32 개를 가지는 것으로 알려져 있다 (Allhands and Prochaska, 1996).

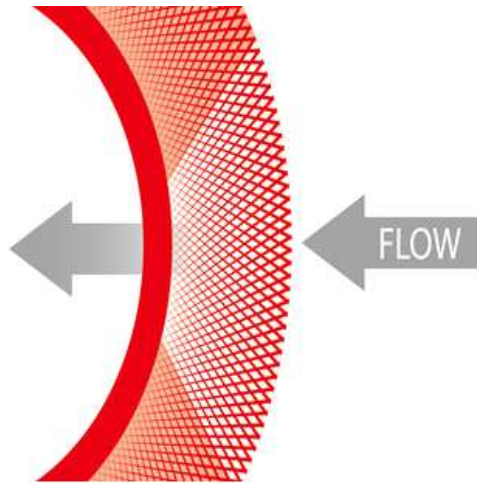


Fig. 3.3 Top view of a disk with crisscross pattern of grooves
 – Netafim manual disk filters info.

디스크 여과기에 사용되는 디스크는 디스크 홈의 개수 및 크기에 따라 특정 Mesh 값을 부여받게 된다. 이 Mesh 값과 동시에 디스크 홈이 물리적으로 여과할 수 있는 입자의 최소 입경을 micron 단위로 알려주게 되며 이를 여과 크기라고 부른다. 예를 들어, 100 Mesh 값을 부여받은 디스크의 경우, 150 micron의 여과 크기를 가지게 된다. 추가적으로 120 Mesh 값을 부여받은 디스크의 경우, Arkal사에서는 125 micron의 여과 크기를 나타내고 있다. 디스크 홈 단면의 경우, Arkal사에서는 정삼각형을 사용하고 있으며 홈의 길이에 따라 일정한 단면 형상을 유지하고 있다 (Alhands and Prochaska, 1996). Arkal사의 경우 디스크 홈 단면 형상인 정삼각형에 내접하는 원의 직경을 여과 크기로 사용하고 있다. 이처럼 디스크 여과기 제조회사들은 Mesh 값별로 디스크를 따로 제작하여 독자적으로 사용하고 있다.

3.2.2 디스크 여과기의 수두 손실

디스크 여과기의 수두 손실의 크기에 영향을 미치는 변수로는 입·출구관의 내경, 여과 성능, 최대 작동 압력, 여과 면적, 여과기 몸체의 치수, 수두 손실 그래프 등을 들 수 있다 (Wu et al., 2014). 수두 손실 그래프는 유량 (Q , m^3/h)에 따른 압력 수두 손실 (ΔH , bar)의 관계를 log-log 그래프에서 직선의 형태로 표시한 것을 의미하며, 일반적으로 다음과 같은 관계식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta H = kQ^n \quad (3.1)$$

k 와 n 은 디스크 여과기의 여러 구조적 변수들에 따라 결정되는 값들로 k 의 경우, n 의 값에 따라 단위가 변한다는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 연구 대상 여과기별 특정 유량에서의 수두 손실을 측정하여, 이를 바탕으로 거둬제곱 형식의 추세식을 구하여 여과기별 유량-수두 손실 계산식을 얻고자 하였다.

Wu et al. (2014)은 차원 분석 기법을 이용해 디스크 여과기의 수두 손실 계산식을 산정한 바 있다. 차원 분석 기법은 디스크 여과기의 이전까지의 수두 손실 계산식을 개발하는 데에 지속적으로 사용되어 왔을 만큼 유용한 기술로 알려져 있다. 하지만, 차원 분석 기법에는 차원 분석 기법은 대량의 실험 데이터를 필요로 하며, 계산식의 범위가 검증된 실험 조건에 한정되어 있으며, 계산식이 여과 과정을 물리적으로 설명하지 못한다는 한계를 가지고 있다 (Arbat et al., 2011). 또한, 차원 분석 기법을 통해 얻은 계산식은 유량의 지수가 하나로 정해진다는 단점 또한 존재한다. 일반적인 디스크 여과기 제품의 수두 손실 그래프에서 유량의 지수는 직선의 기울기로 나타나며, 각 직선들의 기울기가 다르게 나타나는 경우 또한 존재한다. 이는 수두 손실 계산식의 계수와 지수가 모두 디스크의 구조에 의해 변한다는 것을 의미하며, 차원 분석 기법으로 얻어진 계산식으로는 특정한 디스크 여과기의 수두 손실 계산식으로 사용

하기에는 부적합하다는 것을 보여준다. 현재 사용되고 있는 디스크 여과기 제품 설명서들을 확인할 경우, 동일한 디스크 여과기 외형에 대하여 내부의 디스크의 여과 크기가 클수록 수두 손실 그래프는 더 낮아지며, 이는 k 값과 n 값이 감소한다는 것을 의미한다.

디스크 여과기 내부에서 디스크로 물이 유입될 때 상대적으로 좁은 디스크 홈으로 물이 유입되면서 단면 급축소 수두 손실이 각 홈별로 발생하게 된다. 홈 내부에서는 디스크 표면과의 마찰 수두 손실이 발생하며, 홈을 통과하여 디스크 내부로 빠져나올 때는 단면 급확대 수두 손실이 발생하게 된다. 일반적인 디스크 홈의 치수를 적용할 경우, 여과 면적(여과재 바깥 옆면의 면적)에 비해 홈 단면적들의 비율이 상당히 낮기 때문에 단면 급축소 및 급확대 수두 손실을 유입 및 유출 수두 손실로 해석하는 것이 가능하다.

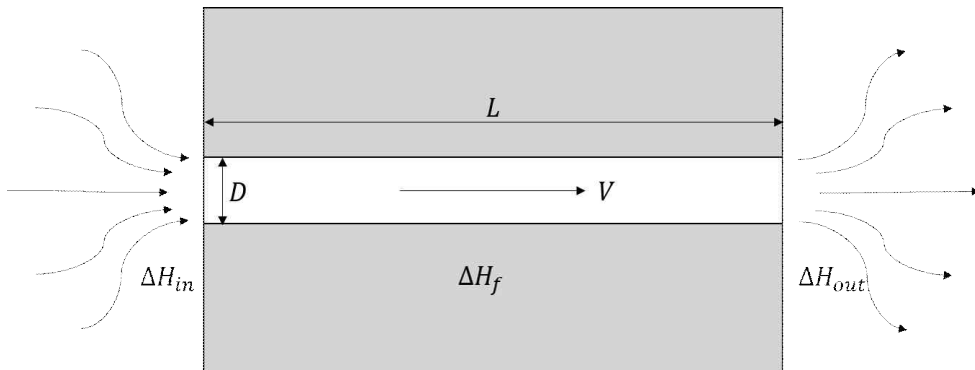


Fig. 3.4 Head losses at a disk groove.

디스크 표면의 홈 하나를 따로 떼어서 그 홈에서 발생하는 수두 손실들을 살펴보았다. 상술한 것과 마찬가지로 Fig. 3.4를 통해 홈 하나에서의 유입 및 유출 수두 손실 (ΔH_{in} , ΔH_{out})과 마찰 수두 손실 (ΔH_f)이 발생하며, 각 수두 손실은 홈 내부의 유속 (V)과 각각 다음과 같은 관계를 보인다.

$$\Delta H_{in} = k_{in} \frac{V^2}{2g} \times \gamma \quad (3.3)$$

$$\Delta H_{out} = k_{out} \frac{V^2}{2g} \times \gamma \quad (3.4)$$

$$\Delta H_f = k_f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} \times \gamma \quad (3.5)$$

이때, k_{in} : 유입 손실 계수, k_{out} : 유출 손실 계수, k_f : 마찰 손실 계수, g : 중력가속도 (m/s^2), γ : 물의 비중량 (kgf/m^3), L : 홈의 길이(mm), D : 홈의 수력직경 (mm)이다.

홈 내부를 지나는 관개용수의 흐름이 층류의 형태라면 $k_f = 64/Re$ (Re : Reynolds 수)를 만족하고, 동일한 유량에서 평균 유속과 홈 단면적 (A)이 반비례하므로 각각의 수두 손실과 홈 단면적은 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\Delta H_{in} \propto 1/A^2 \quad (3.6)$$

$$\Delta H_{out} \propto 1/A^2 \quad (3.7)$$

$$\Delta H_f \propto 1/A \quad (3.8)$$

이때 각 수두 손실에서 홈 단면적과 수력직경에 따라 나뉘어 분석하면, 홈 단면적이 같을 때는 마찰 수두 손실의 차이가 전체 수두 손실의 차이를, 홈 단면의 수력직경이 같을 때는 유입 및 유출 수두 손실의 차이가 전체 수두 손실의 차이를 결정하는 데에 더 큰 영향을 주는 것을 알 수 있다. 예를 들어 반타원형 단면은 동일한 홈 너비를 가지는 삼각형 단면과 단면적이 같을 때 수력직경이 더 크고, 같은 홈 길이를 가질 때 유입 및 유출 수두 손실은 동일하게 나타나고 마찰 수두 손실은 더 작은 값을 가지게 된다. 반대로 반타원형 단면은 동일한 홈 너비를 가지는 삼각형 단면과 수력직경이 같을 때 단면적이 더 작으며, 유입 및 유출 수두 손실이 더 높게 나타나고 마찰 수두 손실은 동일하게 나타난다.

3.3 연구 대상 디스크 여과기

3.3.1 디스크 여과기의 기본 정보

본 연구의 대상인 3가지 여과기의 실제 모습은 **Fig. 3.5**와 같다. 국내의 시설 농가에서는 연결관 직경이 2"인 점적관개 시설을 주로 이용하고 있기에 연구 대상으로 입·출구관의 직경이 2"인 디스크 여과기를 선택하였다. 이중, 이스라엘 제품인 Arkal의 2" Dual Manual 디스크 여과기 (이하 Arkal 여과기), 국내 회사 중 디스크 여과기를 자체적으로 생산하여 판매하는 한슬테크의 2" SAFE 디스크 여과기 (이하 한슬테크 여과기) 및 남경의 2" Alpha Q 디스크 여과기 (이하 남경 여과기)가 본 연구의 시험 대상으로 선정되었다.

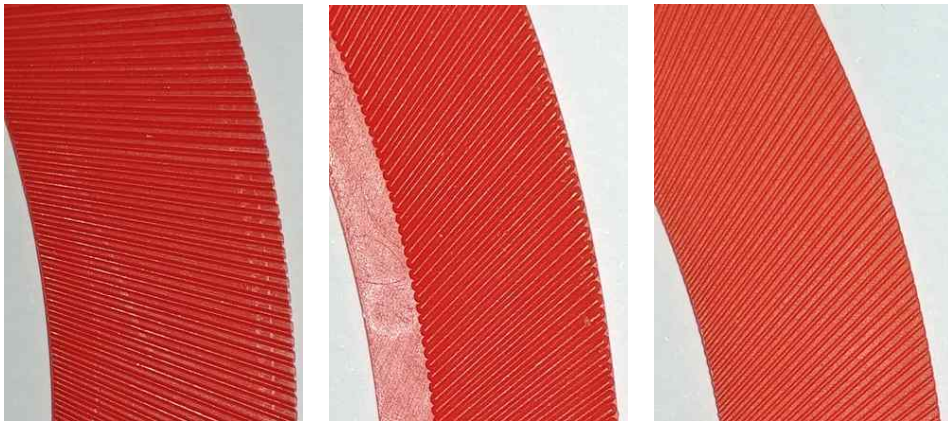


Fig. 3.5 Selected commercial disk filters for experiment.

세 여과기는 본 연구에서 디스크 흠 단면의 형상을 측정하고, 여과기 별 유량-수두 손실 관계를 실험을 통해 측정하였다. 일반적으로 디스크 여과기 제품은 자사에서 수두 손실 그래프를 제공한다. 하지만 Arkal 여과기만 수리특성을 제공하고 있으며, 한슬테크 여과기와 남경 여과기의 경우는 제공하지 않고 있다. 또한 수리특성을 테스트하기 위한 장치가 변동이 있을 경우에는, 동일한 디스크 여과기의 수리특성도 변동되어 측정될 가능성이 있다. 따라서 동일한 조건에서 회사 별 디스크 특성을 비교하고자 수두 손실 테스트 기계를 제작하게 되었다. 디스크 형상 정보는 회사에서 구체적으로 제공되지 않기에 직접 측정하였으며, 디스크 흠 단면 형상의 경우에는 FESEM (Field-Emission Scanning Electron Microscope)을 사용하여 흠의 형상, 너비, 깊이 등을 측정하여 연구에 이용하였다.

3.3.2 디스크 여과기의 치수 정보

본 연구 대상으로 선정된 각 여과기별 디스크의 치수는 **Fig. 3.6**과 같다. 각 디스크 치수의 일부는 제품 설명서를 참고하였으며, 제품 설명서를 통해 제공되지 않는 디스크의 치수는 직접 측정하였다. 직접 측정하기 힘든 홈 단면의 너비와 깊이, 단면의 형상은 SIGMA사의 FESEM을 이용하여 100 배율로 디스크를 촬영한 이미지를 통해 측정하였다. 디스크 홈 단면의 촬영은 디스크의 바깥쪽과 안쪽에서 홈의 단면을 볼 수 있는 방향으로 진행하였다. 각각의 디스크 홈 단면을 촬영할 때는 디스크의 바깥쪽과 안쪽을 모두 촬영하고 양 끝의 홈 단면의 치수를 측정하고 그 평균값을 디스크 홈의 대표 치수로 사용하였다.



(a) Arkal (b) Hanseul Tech (c) Namkyung

Fig. 3.6 Shapes of disk grooves.

Table 3.1 Disk specifications

Disk	Arkal	Hanseul Tech	Nam kyung
Stacked disk number	280	190	240
Outer diameter (mm)	115.00	130.00	117.50
Inner diameter (mm)	85.00	108.00	91.00
Thickness (mm)	0.95	1.20	1.10
Number of grooves on one side	480	600	518
Number of grooves in a disk filter	268,800	273,600	248,640
Length of grooves (mm)	15.70	11.70	14.76
Angle of grooves($^{\circ}$)	14.69	18.08	22.78

Fig. 3.6을 보면 한슬테크 여과기의 디스크는, 홈이 있는 부분과 홈이 없는 부분으로 나뉘어져 있다. 디스크 홈의 기울어진 방향은 Arkal 여과기만 한슬테크 여과기, 남경 여과기와 반대 방향으로 되어있다. 홈 단면 형상을 제외한 세 디스크 여과기의 디스크 치수는 **Table 3.1**과 같다. 홈의 각도는 디스크 홈이 디스크 바깥쪽에서 만나는 부분에서 디스크의 중심선과 이루는 각도 중 예각을 측정한 것으로 디스크 홈의 기울어진 방향은 나타내지 않았다. Arkal 여과기의 디스크는 전체 디스크 장수, 홈의 길이가 세 디스크 중 가장 큰 것으로 나타났다. 디스크 외경 및 내경, 디스크 두께, 디스크 한 장의 홈 개수, 홈의 각도의 경우에는 Arkal 여과기의 디스크가 가장 작게 나타났다.

Table 3.2는 FESEM을 이용하여, 100 배율로 촬영한 세 여과기의 디스크 홈 단면 사진들을 나타내고, 사진에서 나타난 각각의 디스크 홈 단면의 수치를 정리한 것이다. Fig. 7은 각각의 디스크 홈 단면의 모양을 사진에서 나타난 수치를 바탕으로 도식화하였다. 디스크 홈 단면의 형상은 Arkal 여과기와 한슬테크 여과기에서 삼각형, 남경에서 반타원형으로 확인되었다. 삼각형 형태의 홈 단면의 너비, 높이는 모두 한슬테크 여과기가 Arkal 여과기보다 크게 측정되었으며 한슬테크 여과기의 삼각형 홈 단면은 Arkal 여과기의 삼각형 홈 단면과 비교하였을 때 삼각형의 너비에 대한 높이의 비율이 더 낮게 나타났다. 홈 단면적은 남경 여

과기에서 가장 좁았고, 한슬테크 여과기에서 가장 넓었다. 삼각형 단면의 경우 내접한 원의 직경이 디스크의 실제 여과 크기가 된다. 남경 여과기의 반타원형 단면에서는 디스크 홈 단면에 내접하는 원의 직경이 홈 단면의 높이가 되며, 이를 디스크의 실제 여과 크기라고 할 수 있다. 이에 따라 디스크의 실제 여과 크기는 남경 여과기의 디스크에서 제일 작고, 한슬테크 여과기의 디스크에서 제일 크게 나타난다. 따라서 같은 시간 동안 같은 관개용수로 디스크 여과기를 사용할 경우, 남경 여과기의 디스크는 다른 두 디스크보다 더 작은 입径의 부유물질들을 여과하는 것이 가능하다.

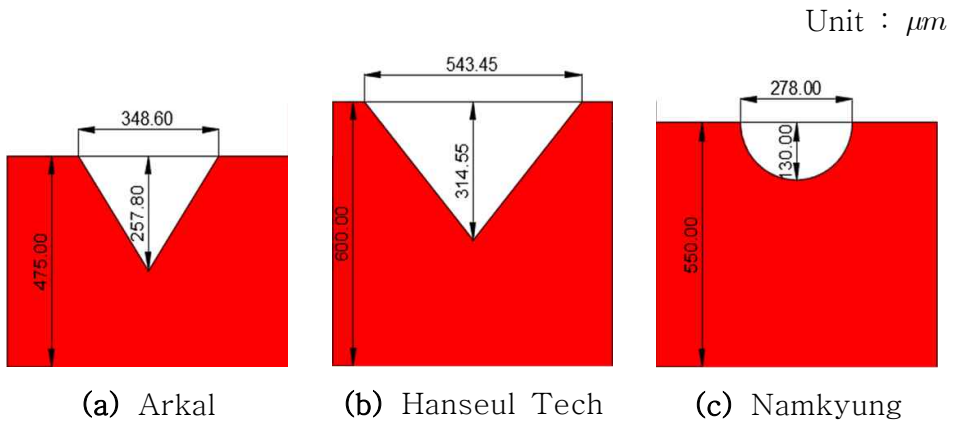
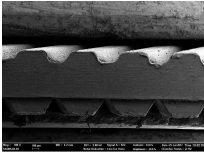
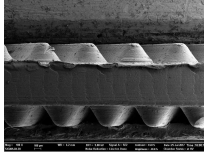
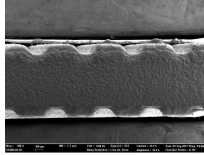
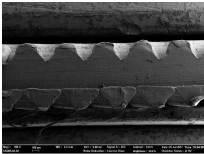
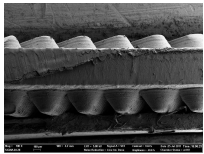
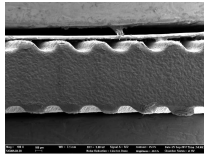


Fig. 3.7 Cross-sections of disk grooves.

Table 3.2 FESEM images of disks grooves at 100X

Disk		Arkal	Hanseul Tech	Namkyung
Groove cross -sections	Outside			
	Inside			
Width of groove (mm)		0.349	0.543	0.278
Depth of groove (mm)		0.258	0.315	0.130
Area of groove cross-section (mm ²)		0.04493	0.08547	0.02838
Perimeter of groove cross-section (mm)		0.971	1.375	0.701

3.4 디스크 여과기의 수두 손실 측정 실험

3.4.1 실험 장치

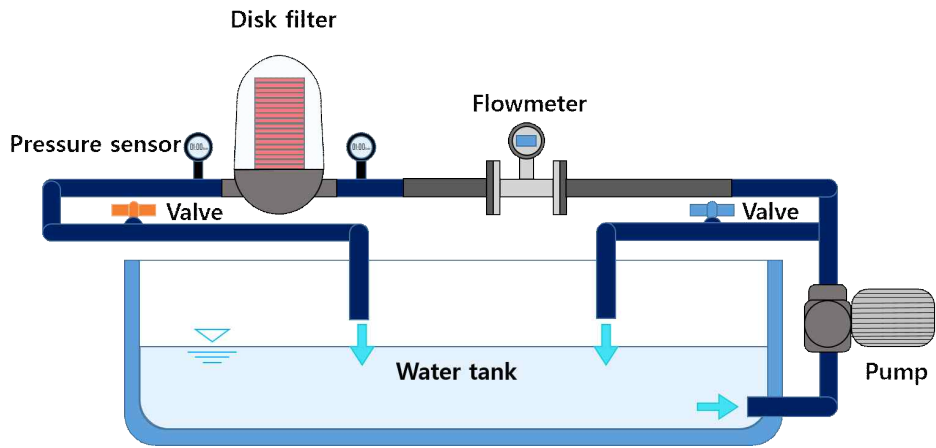
실험 장치는 **Fig. 3.8**과 같이 물통, 연결관, 펌프, 컨트롤러박스, 유량계, 압력계, 여과기, 밸브로 구성된다. 실험을 진행할 때에는 수돗물을 사용하였다. 물통은 가로 110 cm, 세로 70 cm, 높이 60 cm의 내부 공간을 가지고 있다. 물통 하단에 연결된 관은 배수관이며, 상부 구조물을 지탱할 수 있도록 물통 상단에 철제 지지대를 설치하였다. 연결관의 경우 점적관개 현장에서 주로 사용되는 치수와 같은 2"의 직경을 가진 제품으로 PVC 관을 사용 하였다. 펌프 사양의 경우, **Table 3.3**에 요약하였다. 유량계의 경우 터빈 형식의 디지털 유량계로, 0.001 m³/h의 정밀도를 가지고 있다. 유체를 안정적으로 유입시키고 난류 및 계측치의 불안정을 최소화하기 위해 제품 지침서에 따라 유량계의 입구 직경을 기준으로 유량계 전후로 10 배, 5 배 길이의 직관을 확보하여 설치하였다. 유량계 사양의 경우 **Table 3.4**로 나타내었다. 압력계의 경우 0.01 bar의 정밀도를 가지고 있으며, 디지털 압력계를 사용하였다.

Table 3.3 Pump specifications for filter head loss test

Parameters	Value
Model	PH-1588W
Type	Fluid pump
Pump capacity	70 L/min
Minimum height	0.5 m
Diameter	0.4 m
Suction height	8 m
Pumping height	55 m

Table 3.4 Flow meter specifications for filter head loss test

Parameters	Value
Model	Turbine flow meter
Flow range	4 ~ 40 m ³ /h
Max temp.	120 °C



(a) Schematic diagram



(b) Installation

Fig. 3.8 Equipment for filter head loss test.

3.4.2 실험 과정

실험을 진행할 때의 물통 내부에 물을 채우는 높이는 실험 장치를 가동했을 때 펌프 내부를 만관으로 유지시키고 펌프의 유량이 최대로 나오는 최소 높이인 약 30 cm를 사용하였다. 실험 과정은 Fig. 3.9와 같다. 실험의 초기상태는 유입부 쪽의 밸브는 완전히 닫고 유출부 쪽의 밸브는 완전히 열려있는 것으로 하였다. 우선 초기 상태에서 물이 디스크 여과기를 통과하기 전·후의 압력과 통과하는 유량을 측정한 후, 유출부 쪽의 밸브를 일부만 닫으면서 압력계에 나타나는 압력의 값을 약 0.5 bar 씩 증가시킬 때마다의 압력과 유량 값을 측정하였다. 측정 데이터의 경우, 설치된 두 압력계와 유량계에 연결된 데이터 로거를 통해 자동으로 기록되었다. 동일한 압력 값이 측정된 각각의 데이터 지점에 대하여 10 개의 데이터를 선택하여, 그 평균값을 해당 지점의 대푯값으로 사용하였다. 실험 장치에 4~6 bar 이상의 고압이 가해질 때, 측정 장치들을 포함한 실험 장치의 진동이 극심하여, 압력 측정값이 급격하게 불안정해지기 때문에, 그 이후의 측정 데이터 지점은 분석 대상에서 제외하여, 실험 데이터의 신뢰도를 높였다.

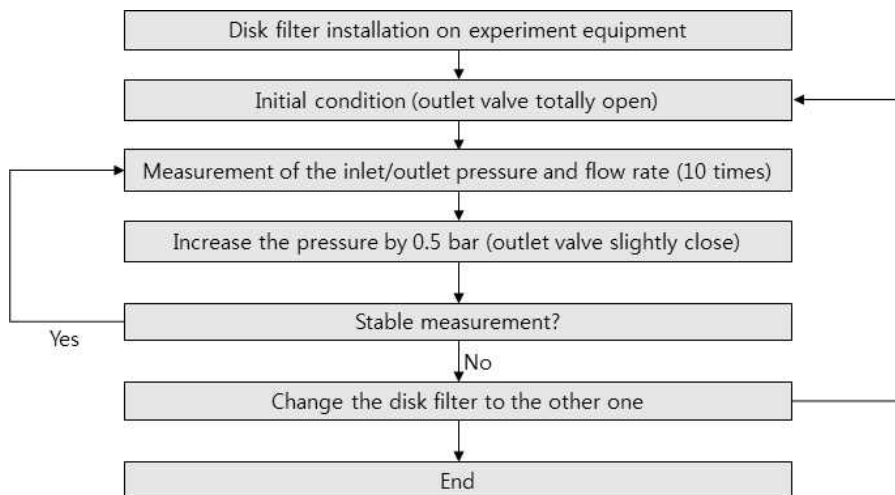


Fig. 3.9 Procedure of filter head loss test.

제 4장 결과 및 고찰

4.1 디스크 여과기별 전체 수두 손실 분석

Arkal 여과기, 한슬테크 여과기, 그리고 남경 여과기에 대하여 수두 손실 실험을 진행하였으며, 측정한 데이터는 **Table 4.1**와 같다. 각각의 디스크 여과기에서 나타난 최대 유량은 약 $7 \text{ m}^3/\text{h}$ 로 세 여과기의 경우에서 모두 비슷한 값을 나타냈으며, 이는 펌프가 낼 수 있는 최대 유량으로 판단된다. 수두 손실 값은 유입부 쪽의 압력계와 유출부 쪽의 압력계에서 측정된 압력 값의 차이로 계산되었다. 실험 결과 세 가지 여과기에서 수두 손실은 $0 \sim 0.07 \text{ bar}$ 범위의 값을 가지는 것으로 나타났다. 실험에서 측정된 유량의 범위에 한정하여, 남경 여과기에서의 수두 손실이 Arkal 여과기와 한슬테크 여과기에서의 수두 손실보다 더 높게 나타났다. Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 경우, 전체적으로 거의 유사한 유량-수두 손실 경향을 보였다.

Table 4.1 Relationship of head losses and flow rates

Type	Pressure before passing through disk filter (bar)	Pressure after passing through disk filter (bar)	Flow rate (m ³ /h)	Head loss (bar)
Arkal	0.990	0.950	6.996	0.040
	1.505	1.470	6.816	0.035
	2.008	1.969	6.634	0.039
	2.505	2.482	6.306	0.023
	2.985	2.965	5.962	0.020
	3.501	3.476	5.559	0.025
	3.998	3.978	5.158	0.020
	4.498	4.485	4.791	0.013
Hanseul Tech	0.990	0.950	6.988	0.040
	1.501	1.472	6.742	0.029
	1.998	1.968	6.655	0.030
	2.498	2.477	6.334	0.021
	3.011	2.989	5.956	0.022
	3.496	3.479	5.572	0.017
	3.997	3.982	5.168	0.015
	4.494	4.477	4.796	0.017
Nam kyung	1.030	1.100	7.035	0.070
	1.512	1.566	6.863	0.054
	2.024	2.071	6.639	0.047
	2.471	2.516	6.349	0.045
	3.037	3.077	5.904	0.040
	3.503	3.542	5.538	0.039
	4.008	4.042	5.137	0.034
	4.501	4.529	4.766	0.028

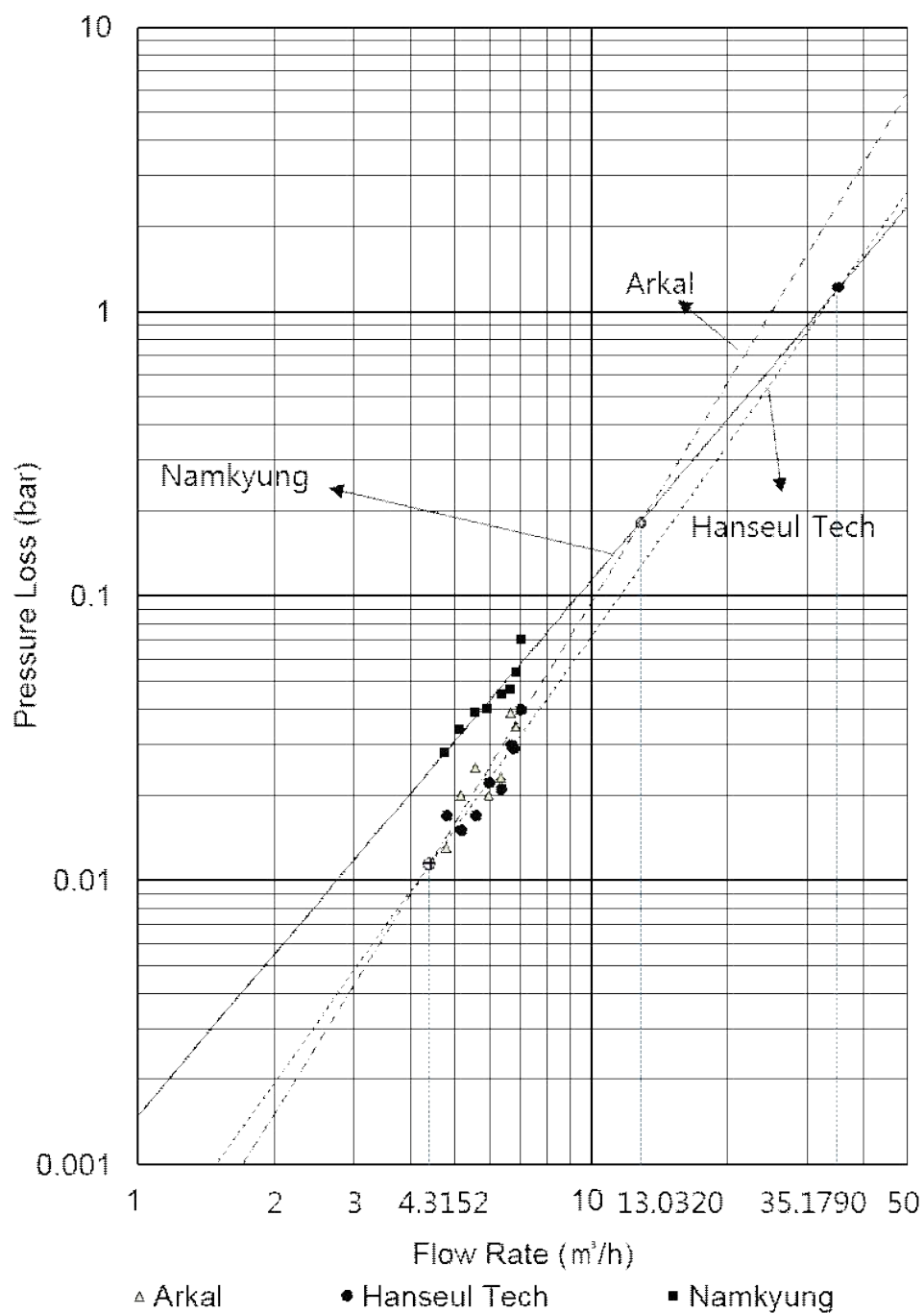


Fig. 4.1 Head loss chart of disk filters.

Fig. 4.1은 Arkal 여과기, 한슬테크 여과기, 그리고 남경 여과기의 수두 손실 실험 결과를 그래프에 표시한 것이다.

실험 데이터를 통해 얻은 각각의 디스크 여과기에서의 유량 (Q , m^3/h)과 압력 손실 수두 (ΔH , bar)의 관계식과 결정계수는 Table 4.2와 같다.

Table 4.2 Head loss equations of disk filters

Disk filter	Equation
Arkal	$\Delta H = 2.5546 \times 10^{-4} \times Q^{2.5678}, R^2 = 0.8149$
Hanseul Tech	$\Delta H = 4.1141 \times 10^{-4} \times Q^{2.2419}, R^2 = 0.8019$
Namkyung	$\Delta H = 14.9682 \times 10^{-4} \times Q^{1.8792}, R^2 = 0.8967$

실험에서 측정된 유량 범위인 약 $4.7 \sim 7 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서는 남경 여과기가 가장 수두 손실이 크게 나타났다. 실험 데이터 상으로는 Arkal 여과기 제품설명서에서 제공하는 권장 유량인 $12 \sim 25 \text{ m}^3/\text{h}$ 범위 중 $13.0320 \text{ m}^3/\text{h}$ 미만에서는 남경 여과기, Arkal 여과기, 한슬테크 여과기 순으로 수두 손실이 크며, $13.0320 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상부터는 Arkal 여과기, 남경 여과기, 한슬테크 여과기 순으로 수두 손실이 큰 것을 확인할 수 있었다. 이러한 수두 손실의 차이는 디스크 홈 단면적의 차이가 가장 영향이 큰 것으로 확인되며, 모든 유량 값에서 수두 손실의 크기 우위가 고정되지 않는 것은 그 외의 다른 디스크 치수들의 영향으로 판단된다. 실험 장치에서 사용한 펌프는 국내 농가에서 점적 관개에 주로 쓰이는 펌프이므로, 이 펌프를 통해 실험에서 나타난 유량 값의 범위인 $4 \sim 7 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서는 수두 손실의 측면에서 한슬테크의 여과기를 선택하여 이용하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 또한 해외 여과기인 Arkal 여과기의 유량 사용범위인 $12 \sim 25 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서도 한슬테크의 여과기가 가장 적절하다. 다만, 본 유량-수두 손실 관계는 $4 \sim 7 \text{ m}^3/\text{h}$ 의 범위의 실험 데이터로 그 이상의 유량에서의 수두 손실을 추정했다는 한계점을 가지고 있다.

4.2 디스크 홈 단면 형상별 홈 수두 손실 분석

4.2.1 디스크 여과기별 홈 내부 Reynolds 수 분석

디스크 여과기의 디스크 홈 내부에서의 흐름을 확인하기 위해 Reynolds 수를 확인하였다. 여과기를 통과하는 물의 유량이 디스크의 모든 홈에 균등하게 배분되고 각 홈 내부에서의 흐름이 전부 동일한 형태를 가진다는 가정과 각 홈의 흐름이 서로 독립적으로 작용한다고 가정을 바탕으로 실험에서 측정된 여과기별 유량 범위에서의 디스크 홈 내부에서의 Reynolds 수를 Table 4.3과 같이 계산하였다. 홈 내부의 평균 속도는 홈을 지나는 유량과 홈의 단면적으로부터 계산되었으며, 물의 동점성계수는 20℃에서의 값을 사용하여 Reynolds 수를 계산하였다.

Table 4.3에서 계산된 Reynolds 수는 모두 2,100보다 낮게 나타났으며, 홈 하나를 지나는 용수의 흐름은 층류로 나타났다. 따라서 일반적인 농업용 펌프를 사용하여 디스크 여과기를 하나만 사용할 때는 각 여과기에 대하여 모두 디스크 홈 내부를 통과하는 물의 흐름이 층류를 나타낸다는 것을 확인할 수 있었다. Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 제품 설명서에서 제공하는 권장 사용 유량의 범위인 12~25 m³/h에서 또한, 각 여과기에서 모두 디스크 홈 내부를 통과하는 물의 흐름이 층류를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Table 4.3 Reynolds numbers of waters passing through disk grooves

Type	Total flow (m ³ /h)	Groove flow rate (cm ³ /h)	Average groove cross-section area (10 ⁻² mm ²)	Average flow velocity in a groove (cm/s)	Hydraulic diameter (mm)	Reynolds number
Arkal	4.791	17.824	4.494	11.019	0.185	20.255
	5.158	19.189	4.494	11.863	0.185	21.806
	5.559	20.679	4.494	12.783	0.185	23.499
	5.962	22.180	4.494	13.711	0.185	25.204
	6.306	23.461	4.494	14.503	0.185	26.660
	6.634	24.681	4.494	15.257	0.185	28.046
	6.816	25.358	4.494	15.676	0.185	28.815
	6.996	26.026	4.494	16.089	0.185	29.575
Hanseul Tech	4.796	21.036	8.547	6.836	0.249	16.883
	5.168	22.667	8.547	7.367	0.249	18.192
	5.572	24.438	8.547	7.942	0.249	19.614
	5.956	26.122	8.547	8.490	0.249	20.965
	6.334	27.779	8.547	9.028	0.249	22.295
	6.655	29.188	8.547	9.486	0.249	23.426
	6.742	29.572	8.547	9.611	0.249	23.734
	6.988	30.648	8.547	9.960	0.249	24.598
Nam kyung	4.766	19.168	2.838	18.758	0.162	30.185
	5.137	20.662	2.838	20.220	0.162	32.538
	5.538	22.273	2.838	21.797	0.162	35.075
	5.904	23.746	2.838	23.238	0.162	37.394
	6.349	25.536	2.838	24.990	0.162	40.213
	6.639	26.700	2.838	26.130	0.162	42.047
	6.863	27.601	2.838	27.012	0.162	43.466
	7.035	28.293	2.838	27.689	0.162	44.555

4.2.2 디스크 여과기별 흄 수두 손실 분석

위아래 두 디스크가 붙어있을 때, 표면의 흄들이 교차하면서 형성되는 망 형태의 지점에서 내부 수로 흐름은 실제적으로 난류 형태를 보일 것이다. 하지만, Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 사용 유량 범위인 12 ~ 25 m³/h에서는 흄 내부 유속이 매우 느리게 나타나기 때문에 전체적인 흐름은 난류보다는 층류에 가깝다고 가정할 수 있다. 따라서 전체 수두 손실에서 여과재에 존재하는 전체 흄의 개수로 나뉘서 흄 하나에서의 수두 손실을 계산하였다. 따라서 Table 4.2에서 얻었던 각 디스크 여과기별 수두 손실 관계식을 이용하여, 유량 (Q)과 흄 하나에서의 수두 손실 (ΔH_g)의 관계식을 구하면 Table 4.4와 같다.

Table 4.4 Head loss equations of disk grooves

Disk filter	Equation
Arkal	$\Delta H_g = 9.5037 \times 10^{-10} \times Q^{2.5678}$
Hanseul Tech	$\Delta H_g = 18.0443 \times 10^{-10} \times Q^{2.2419}$
Namkyung	$\Delta H_g = 60.2003 \times 10^{-10} \times Q^{1.8792}$

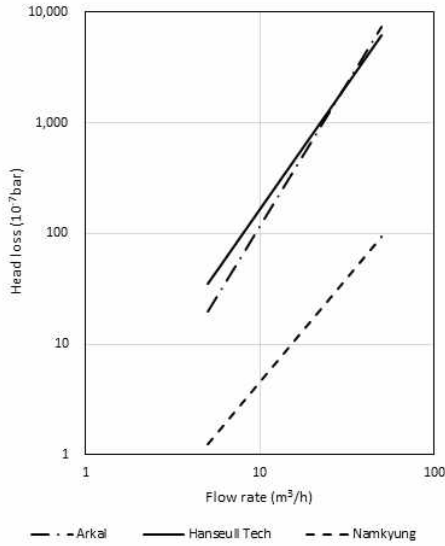
흄에서의 평균 유속은 흄의 유량과 비례하고 흄 단면적과 반비례한다. 유량-수두 손실 관계식의 계수 및 지수가 흄 단면적에 영향을 받지 않는다고 가정한다면, 각 여과기별 흄 단면적 (A)과 수두 손실 (ΔH_g)의 관계는 Table 4.5와 같이 나타낼 수 있다.

Table 4.5 Relationships of cross-section area and head loss of disk grooves

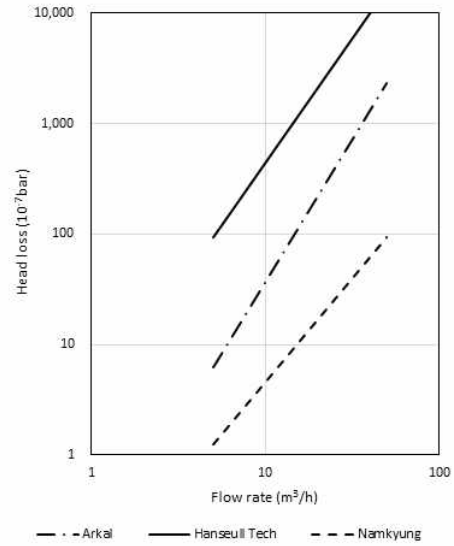
Disk filter	Relationship
Arkal	$\Delta H_g \propto 1/A^{2.5678}$
Hanseul Tech	$\Delta H_g \propto 1/A^{2.2419}$
Namkyung	$\Delta H_g \propto 1/A^{1.8792}$

Table 4.6 Head losses of disk grooves under the same cross-section conditions

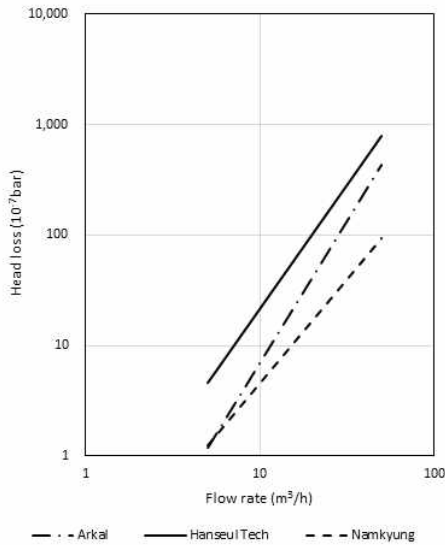
Type	Total flow (m ³ /h)	Groove flow rate (cm ³ /h)	Head loss in a groove (10 ⁻⁷ bar)			
			Same depth	Same area	Same hydraulic diameter	Same perimeter
Arkal	5	18.601	19.940	6.270	1.174	3.166
	10	37.202	118.225	37.175	6.959	18.769
	15	55.804	334.869	105.299	19.710	53.161
	20	74.405	700.959	220.414	41.258	111.279
	25	93.006	1,243.191	390.918	73.173	197.360
	30	111.607	1,985.452	624.319	116.861	315.196
	35	130.208	2,949.615	927.497	173.610	468.259
	40	148.810	4,156.013	1,306.845	244.617	659.778
	45	167.411	5,623.754	1,768.371	331.007	892.786
	50	186.012	7,370.930	2,317.765	433.843	1,170.155
Hanseul Tech	5	21.930	34.993	93.308	4.544	13.673
	10	43.860	165.523	441.360	21.493	64.674
	15	65.790	410.803	1,095.391	53.341	160.512
	20	87.719	782.946	2,087.696	101.663	305.919
	25	109.649	1,291.198	3,442.931	167.658	504.507
	30	131.579	1,943.159	5,181.358	252.313	759.246
	35	153.509	2,745.334	7,320.330	356.473	1,072.678
	40	175.439	3,703.450	9,875.109	480.881	1,447.041
	45	197.368	4,822.637	12,859.379	626.203	1,884.338
	50	219.298	6,107.559	16,285.572	793.046	2,386.392
Nam kyung	5	20.109	1.239	1.239	1.239	1.239
	10	40.219	4.558	4.558	4.558	4.558
	15	60.328	9.765	9.765	9.765	9.765
	20	80.438	16.766	16.766	16.766	16.766
	25	100.547	25.500	25.500	25.500	25.500
	30	120.656	35.920	35.920	35.920	35.920
	35	140.766	47.989	47.989	47.989	47.989
	40	160.875	61.676	61.676	61.676	61.676
	45	180.985	76.955	76.955	76.955	76.955
	50	201.094	93.805	93.805	93.805	93.805



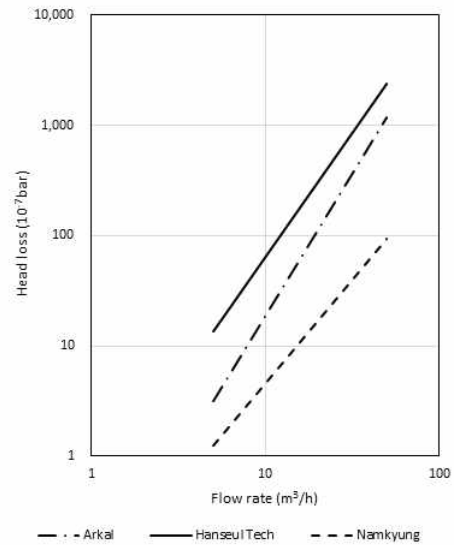
(a) Same depth



(b) Same area



(c) Same hydraulic diameter



(d) Same perimeter

Fig. 4.2 Head loss charts in a disk groove of filters under the same cross-section conditions.

홈 단면의 높이, 넓이, 수력직경, 둘레를 남경의 디스크와 같게 바꿨을 때의 홈 단면적의 변화율을 바탕으로 Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 홈 수두 손실 값을 재계산하였고, 유량 5~50 m³/h에서의 홈 수두 손실이 재계산된 결과는 Table 4.6과 Fig. 4.2로 나타내었다. 4가지의 모든 단면 재계산 조건 하에서 한슬테크 여과기에서의 수두 손실이 제일 높게 나타났으며, 남경 여과기에서의 수두 손실이 제일 낮게 나타났다. 이는 Fig. 4.1에서 나타났던 수두 손실 순위와는 다른 양상을 나타냈으며, 등가 단면으로 치환할 때에는 반타원형의 홈 단면 형상을 갖는 남경 여과기의 디스크가 가장 유리하게 나타났다. Fig. 4.2(a)에서 디스크 홈 단면의 높이가 같을 경우, 반타원형의 단면적이 삼각형의 단면적보다 2 배 이상 크게 재계산되었다. 이는 단면 둘레가 약 1.6 배 더 길어서 마찰 수두 손실이 더 높게 나오지만 단면적으로 인한 단면 급축소 및 급확대 수두 손실은 더 낮게 나온다는 것을 의미하며, 단면적이 수두 손실에 주는 영향이 단면 둘레가 주는 영향보다 크기 때문에 최종적으로 남경에서의 수두 손실이 더 낮게 나타나는 것으로 판단된다. Fig. 4.2(b)에서 디스크 홈 단면적이 같을 경우, 반타원형의 단면의 둘레가 삼각형의 단면 둘레보다 짧게 재계산되었다. 이는 디스크 여과재 내부에서의 마찰 수두 손실이 더 낮게 나타나며 단면 급축소 및 급확대 수두 손실은 동일하게 나와서 최종적으로 남경 여과기에서의 수두 손실이 낮게 나타나는 것으로 판단된다. Fig. 4.2(d)에서 디스크 홈 단면 둘레가 같을 경우, 반타원형의 단면의 면적은 삼각형의 단면의 면적보다 더 크게 재계산되며, 마찰 수두 손실이 동일하게 나타나지만 단면 급축소 및 급확대 수두 손실이 감소하여 최종적으로 남경 여과기에서의 수두 손실이 낮게 나타나는 것으로 판단된다. Fig. 4.2(c)에서 디스크 홈 단면의 수력직경이 같을 경우, 반타원형의 단면적이 삼각형의 단면적보다 더 작지만 홈 단면 둘레 또한 삼각형보다 더 작다. 남경 여과기에서의 수두 손실은 여전히 더 낮게 나타났으며, 한슬테크 여과기의 홈 단면을 기준으로 단면적이 약 0.78 배 정도 작은 것보다, 단면의 둘레가 약 0.78 배 정도 작은 것이 수두 손실에 더 크게 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 종합적으로

로 홈 단면의 형상이 수두 손실에 미치는 영향을 비교하면, 반타원형이 삼각형보다 디스크 홈에서의 수두 손실이 더 적게 나타나며, 이는 단면의 둘레가 삼각형보다 상대적으로 더 작기에 나타나는 현상으로 판단할 수 있다. 따라서 디스크 홈 단면 형상에 대해서는 남경 여과기가 수두 손실을 가장 최소화할 수 있는 제품이라고 할 수 있다. Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 경우를 비교하면, 두 여과기에서 모두 삼각형 형태의 디스크 홈 단면을 가지며, 삼각형의 폭과 높이의 비율이 서로 다르다. 디스크 홈 단면의 폭이 더 큰 비율을 가지는 한슬테크 여과기에서 수두 손실이 Arkal 여과기에서보다 더 높게 나타나므로, 삼각형의 홈 단면에서 홈 단면 높이에 대한 홈 단면 너비의 비율이 더 클수록 홈 수두 손실이 더 커지는 경향을 가진다고 할 수 있다.

본 연구의 경우 삼각형과 반타원형의 디스크 홈 단면 형상만을 대상으로 하고 있다. 따라서 삼각형과 반타원형을 벗어나거나 그 중간 단계의 홈 단면 형상에 대해 분석을 진행하고자 하는 경우, 해당 홈 단면 형상을 가지는 새로운 디스크 여과기 또는 디스크를 제작하는 추가적인 연구가 필요하다. 비교적 얇은 여과기용 디스크의 홈 단면 형상을 원하는 모양으로 설계하여 제작하는 것은 해당 전문가의 도움이 필요하므로, 수두 손실 실험에 직접 사용되기까지 많은 시간과 비용이 소모될 것으로 예상된다. 전산유체역학을 사용할 경우, 여러 형태의 디스크 홈 단면 형상에 대해서 연구가 가능할 것으로 보이나, 디스크 여과기 내부 공간의 3D 모델링 및 격자 생성 단계에서 많은 시간이 소요될 것으로 보인다.

제 5장 요약 및 결론

본 연구에서는 디스크 여과기의 디스크에 따른 수두 손실 변화를 측정하였고, 수두 손실의 변화에 대한 원인을 분석하였으며, 이를 개선하기 위한 방법에 대하여 고찰하였다. 본 연구에서 도출된 연구결과는 다음과 같다.

세 개의 서로 다른 회사의 점적관개 디스크 여과기인 Arkal 여과기, 한슬테크 여과기, 남경 여과기를 대상으로 디스크 표면의 고배율 촬영과 수두 손실 실험을 실시하여 각 여과기의 디스크 구조 분석과 수두 손실 분석을 진행하였다. 디스크 고배율 촬영은 FESEM을 이용하여 100 배율로 확대하여 진행하였으며, Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 디스크 홈은 삼각형 형태의 단면을, 남경 여과기의 디스크에서는 반타원형의 단면을 가지고 있음을 확인하였다. Arkal 여과기의 디스크는 다른 디스크와 비교하여 수두 손실을 증가시킬 수 있는 항목 (전체 디스크 장수가 가장 많고, 홈의 길이가 가장 길며, 디스크 내·외경, 디스크 두께가 가장 작고, 디스크 한 장의 홈 개수가 가장 작음)은 상대적으로 많았으며, 수두 손실을 감소시킬 수 있는 항목 (홈 각도는 가장 작음)은 적기 때문에 Arkal 여과기의 디스크가 연구 대상 여과기들 중에서 수두 손실의 감소에 가장 최적화된 디스크 설계를 가진다고 하기는 어렵다.

디스크 여과기의 수두 손실 실험에서는 실제 점적 관개 시스템과 유사한 실험 장치를 제작하여 진행하였으며, 각각의 여과기에 대한 유량-수두 손실 관계식을 유도하였다. 유량이 $4.3152 \sim 35.1790 \text{ m}^3/\text{h}$ 일 때, 한슬테크의 여과기 수두 손실이 가장 적었으며, 남경의 여과기 수두 손실은 약 $13.0320 \text{ m}^3/\text{h}$ 이상일 때 Arkal의 여과기 수두 손실보다 적었다. Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 제품 설명서에서 제공되는 디스크 여과기 사용 유량 범위인 $12 \sim 25 \text{ m}^3/\text{h}$ 에서 남경의 여과기는 Arkal의 여과기보다 수두 손실이 낮지만, 한슬테크의 여과기보다는 높은 것을 알 수 있다. 따라서 우리나라에서 관개용수를 사용할 경우, 한슬테크 여과기의 수두 손실이 가장 낮게 나오므로, 수리학적 측면에서 점적관개 시

시스템에 사용하는 데에 적절한 디스크로 판단되었다.

남경의 여과기는 홈 단면 크기가 다른 디스크들의 절반 정도로 작기 때문에 여과기별 수두 손실이 Arkal 여과기, 한슬테크 여과기보다 높게 나타난다. 하지만, 남경 여과기의 디스크의 여과 크기는 가장 작으며, 이는 관개용수 속의 부유물질을 제거하는 기능이 상대적으로 더 좋으며, 상대적으로 더 작은 부유물질까지 여과할 수 있다는 것을 의미한다.

디스크 홈 단면 크기에 따른 수두 손실의 차이를 최소화하고 단면의 형상이 수두 손실의 차이에 주는 영향을 분석하기 위해 각 회사 디스크 홈 단면을 등가의 단면 조건으로 변환하고, 수리학적인 관계를 바탕으로 상대적인 수두 손실을 재계산하였다. 4가지 요소(단면 높이, 면적, 수력학적 직경, 둘레)에 대하여 남경 여과기의 디스크의 값을 기준으로 Arkal 여과기와 한슬테크 여과기의 수두 손실에 면적 변화율을 적용하여 홈 수두 손실을 재계산하였다. 먼저, 홈 수두 손실을 계산하기 위해 홈 내부의 관개용수의 흐름을 확인하였다. 위·아래로 디스크 홈이 교차하면서 만나는 지점에서 발생하는 와류는 디스크 여과기의 수두 손실에 주는 영향이 미비하다고 가정하였다. 디스크 홈의 제원을 바탕으로 계산한 결과 디스크 홈 내부에서의 수리 흐름은 세 여과기 모두에서 Reynolds 수가 매우 작은 층류로 나타났다. 따라서 각 홈에서의 수두 손실을 독립적인 각각의 관수로 해석하여 홈 단면과의 관계를 관수로에서의 수두 손실과 같이 해석할 수 있다는 것을 확인하였다.

각 여과기의 디스크에 대하여 홈 단면의 넓이, 높이, 수력직경, 둘레를 동일하게 조정하였을 때, 남경 여과기의 디스크가 홈 수두 손실이 모든 구간에서 타 회사 여과기들보다 확연히 낮게 나타났으며, 디스크의 홈 단면 형태가 삼각형인 타 회사의 여과기와 달리 남경 여과기의 디스크가 반타원형을 가지는 것이 가장 영향을 많이 주는 항목으로 분석되었다. 따라서 디스크 홈을 설계할 경우에는 삼각형보다는 반타원형의 홈 단면을 선택하는 것이 수두 손실을 최소화하는 방안이라 할 수 있다. 만일 부득이하게 삼각형 형태의 홈 단면으로 설계해야 할 경우에는 최대한 반타원형에 가깝게 삼각형을 설계하는 것이 수두 손실을 최소화하는 데에

유리할 것으로 판단되었다.

본 연구의 결과는 디스크 홈 단면 형상에 따른 디스크 여과기의 수두 손실의 변화를 수리학적 개념을 바탕으로 제시하여 고려한 분석에 의미가 있다. 디스크 여과기 내부에서 디스크에 의한 수두 손실의 발생에 영향을 주는 변수 중 설계 변경이 독자적으로 가능한 부분은 디스크 여과기의 특성이 크게 변화하지 않는 디스크 홈 단면의 형상이다. 따라서 디스크 홈 단면은 기존의 디스크 여과기에서 수두 손실을 최소한의 설계 변경으로 감소시킬 수 있는 부분이라 할 수 있다. 따라서 미래에 수두 손실 발생량이 적은 디스크 여과기의 설계에 활용되어 보다 효율적인 점적관개 시스템의 이용에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

References

1. 김철수, 김진현, 고수현, 이근후, 1991. 자동관개 시스템을 이용한 시설오이 재배에 관한 연구. 한국농공학회지 33(1): 89-99.
2. 김학진, 손동욱, 허승오, 노미영, 정기열, 박종민, 이중용, 이동훈, 2009. 점적관개 시 토성별 습윤·건조 특성 비교. 생물환경조절학회지 18(4): 309-315.
3. 김학진, 안성욱, 한경화, 최진용, 정선옥, 노미영, 허승오, 2013. 자동 점적관수에 의한 토성별 수분함량 및 장력 변화특성 비교 연구. 한국 생물환경조절학회 22(4): 341-348.
4. 남원호, 최진용, 최순균, 홍은미, 전상호, 허승오, 2012. 점적관개 시설의 관개균일도 및 성능 평가. 한국농공학회지 54(4): 29-38.
5. 노희명, 권재필, 김승현, 류순호, 2000. 작물 흡수를 고려한 3차원 토양수분 분포 모델 개발을 통한 최적 점적관개 연구. 한국농화학학회지 43(2): 116-123.
6. 노희명, 김승현, 1997. 점적관개에서 토양수분 이동 현상에 대한 2차원 모델 개발 연구. 한국토양비료학회지 30(4): 314-327.
7. 윤용남, 2010. 수리학-기초와 응용. 청문각.
8. 이남호, 1999. 점적 emitter의 성능과 수리적 특성. 한국농공학회지 41(3): 33-40.
9. 이남호, 황한철, 1998. 시설농업의 용수 이용실태 조사분석. 농촌계획 4(2): 96-102.
10. 이남호, 황한철, 남상운, 홍성구, 전우정, 1998. 시설농업을 위한 관개시설의 이용실태 조사분석. 한국농공학회지 40(6): 37-45.
11. 정강호, 2007. 작물을 재배할 때 좋은 물관리 방법-첫여정 : 제 때에 적량을 주기 위한 4가지 기술. 토양과 비료 31: 19-28.
12. 정영상, 양재의, 주영규, 이주영, 박용성, 최문헌, 최승출, 1997. 농업형태가 다른 한강 상하류 소유역의 하천수 및 농업용 지하수 수질. 한국환경농학회지 16(2): 199-205.

13. 최순군, 2012. 수치해석을 이용한 점적관개의 토양수분 재분배 분석. 서울대학교 석사학위논문.
14. 최순군, 최진용, 남원호, 허승오, 김학진, 정선옥, 한경화, 2012. 점적관개에 따른 토양수분 재분배 균일성 평가. 한국농공학회논문집 54(3): 19-28.
15. 허승오, 2007. 작물을 재배할 때 좋은 물관리 방법-세번째 여정 : 관개자재에 대한 이해. 토양과 비료 31: 33-45.
16. Adin, A., and G. Alon, 1986. Mechanisms and process parameters of filter screens. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 112(4), 293-304.
17. Alhands, M. N., and J. F. Pranchaska, 1996. Disc filtration: something old, something new. *American Filtration and Seperation Society Meeting* 496-500.
18. Arbat, G., T. Pujol, J. Puig-Bargués, M. Duran-Ros, J. Barragán, L. Montoro, and F. R. De Cartagena, 2011. Using computational fluid dynamics to predict head losses in the auxiliary elements of a microirrigation sand filter. *Transactions of the ASABE* 54(4): 1367-1376.
19. Benham, B. L., and B. B. Ross, 2002. Filtration, treatment, and maintenance considerations for micro-irrigation systems. Publication 442-757. Virginia Polytechnic Institute and state University Libraries.
20. Capra, A., and B. Scicolone, 2004. Emitter and filter tests for wastewater reuse by drip irrigation. *Agricultural water management* 68(2): 135-149.
21. Demir, V., H. Yürdem, A. Yazgi, and A. Değirmencioğlu, 2009. Determination of the head losses in metal body disc filters used in drip irrigation systems. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 33(3): 219-229.

22. Duran–Ros, M., J. Puig–Bargués, G. Arbat, J. Barragán, and F. R. de Cartagena, 2009. Effect of filter, emitter and location on clogging when using effluents. *Agricultural Water Management* 96(1): 67–79.
23. Duran–Ros, M., G. Arbat, J. Barragán, F. R. de Cartagena, and J. Puig–Bargués, 2010. Assessment of head loss equations developed with dimensional analysis for micro irrigation filters using effluents. *Biosystems Engineering* 106(4): 521–526.
24. Elbana, M., F. R. Cartagena, and J. Puig–Bargués, 2012. Effectiveness of sand media filters for removing turbidity and recovering dissolved oxygen from a reclaimed effluent used for micro–irrigation. *Agricultural Water Management* 111: 27–33.
25. Hassanli, A. M., M. A. Ebrahimizadeh, and S. Beecham, 2009. The effects of irrigation methods with effluent and irrigation scheduling on water use efficiency and corn yields in an arid region. *Agricultural Water Management* 96(1): 93–99.
26. Liu, G., H. Jiang, D. Liao, and Y. Deng, 2017. Comparative experiments on the technological performance of disc filters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 207(1): p. 012066.
27. McDonald, D. R., L. S. Lau, I. P. Wu, H. K. Gee, and S. C. H. Young, 1984. Improved emitter and network system design for reuse of wastewater in drip irrigation 163.
28. Oron, G., B. Turzynski, and G. Shelef, 1979. Trickle irrigation using treated wastewaters. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 105(2), 175–186.
29. Puig–Bargués, J., J. Barragán, and F. R. de Cartagena, 2005.

- Development of equations for calculating the head loss in effluent filtration in microirrigation systems using dimensional analysis. *Biosystems Engineering* 92(3): 383–390.
30. Puig–Bargués, J., G. Arbat, J. Barragán, and F. R. de Cartagena, 2005. Effluent particle removal by microirrigation system filters. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3(2): 182–191.
 31. Ribeiro, T. A. P., J. E. S. Paterniani, R. P. D. S. Airol, and M. J. M. D. Silva, 2004. Water quality and head loss in irrigation filters. *Scientia Agricola* 61(6): 563–572.
 32. Sivanappan, R. K., 1994. Prospects of micro-irrigation in India. *Irrigation and Drainage System* 8(1): 49–58.
 33. Tajrishy, M. A., D. J. Hills, and G. Tchobanoglous, 1994. Pretreatment of secondary effluent for drip irrigation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE* 120(4): 716–731.
 34. Tripathi, V. K., T. B. S. Rajput, & N. Patel, 2014. Performance of different filter combinations with surface and subsurface drip irrigation systems for utilizing municipal wastewater. *Irrigation science*, 32(5), 379–391.
 35. Ravina I, G. Sagi, E. Paz, A. Schischa, Z. Yechiely, A. Marco, Z. Sofer, and Y. Lev, 1993. Filter performance and emitter clogging in conditions of effluent reservoir water. In *Proceedings of the 6th International Conference on Irrigation, Agritech*, Tel–Aviv, Israel; 19.
 36. Wu, W., W. Chen, H. Liu, S. Yin, Z. Bao, and Y. Niu, 2014. A dimensional analysis model for the calculation of head loss due to disc filters in drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage* 63(3): 349–358.

37. Wu, W., W. Chen, H. Liu, S. Yin, and Y. Niu, 2014. A new model for head loss assessment of screen filters developed with dimensional analysis in drip irrigation systems. *Irrigation and Drainage* 63(4): 523–531.
38. Yürdem, H., V. Demir, and A. Degirmencioglu, 2008. Development of a mathematical model to predict head losses from disc filters in drip irrigation systems using dimensional analysis. *Biosystems Engineering* 100(1): 14–23.
39. Yürdem, H., V. Demir, and A. Degirmencioglu, 2010. Development of a mathematical model to predict clean water head losses in hydrocyclone filters in drip irrigation systems using dimensional analysis. *Biosystems Engineering* 105(4): 495–506.

Abstract

Analysis of Disk Filter Head Losses due to the Shapes of Disk Grooves

Jung, Seung–Yeon

College of Agriculture and Life Science

Department of Landscape Architecture and Rural Systems

Engineering

The Graduate School of Seoul National University

Drip irrigation system is a low energy cost method which can efficiently save and supply water by dropping water slowly on the crop's root zone during crop growth. In the drip irrigation system, disk filters take an important role to physically remove impurity (inorganic and suspended organic) particles present in agricultural water which can cause emitter clogging. For the purpose, both top-and-bottom surfaces of the disk are grooved in micron size flowing from outside to inside. However, many congested flow paths in disk filter media incur higher head loss of inflow water resulting in relatively decreasing velocities depending on operation time than sand and mesh filters. Therefore, it is important to optimize the structure of disk filter

in micro irrigation system. The head loss of disk filter media takes also charge of more than 60% of total head loss in whole disk filter. This study is to find the appropriate cross-sectional shape of the disk groove to minimize the head loss by executing the experiment. The experiment used three disk filters that have similar filter body but have a half-elliptic and two kinds of triangular cross sections. The experimental results showed that the disk filter with half-elliptic cross sections of disk grooves have less head loss than the disk filter with regular triangular one.

Keywords : drip irrigation; disk filter; head loss; shapes of disk grooves

Student number : 2016-21711